发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡生长性能、肠道微生物数量和抗氧化能力的影响

魏炳栋[1] 苗国伟[1, 2] 邱玉朗[1] 李 林[1] 陈 群[1*] 李伟忠[3]

（1.吉林省农业科学院畜牧分院，公主岭 136100；2.吉林农业大学，长春 130118；3.潍坊学院，潍坊 261061）

摘 要：本试验旨在研究复合微生物发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡生长性能、肠道微生物数量和抗氧化能力的影响。选取 7 日龄黄羽肉仔鸡 150 只，随机分为 3 组，每组 10 个重复，每个重复 5 只鸡。对照组饲喂不添加发酵玉米蛋白粉的基础饲粮，试验组分别饲喂添加 5%和 10%发酵玉米蛋白粉的试验饲粮。试验期 49 d。结果表明，与对照组相比：1）饲粮添加 5%和 10%的发酵玉米蛋白粉能够显著提高肉仔鸡的平均日采食量和平均日增重（P<0.05），并且饲粮添加 10%的发酵玉米蛋白粉能够显著降低料重比（P<0.05）；2）饲粮添加 10%的发酵玉米蛋白粉能够显著或极显著提高 28 日龄的肝脏指数、肾脏指数以及 56 日龄的肾脏指数、胸腺指数（P<0.05 或 P<0.01）；3）饲粮添加 10%的发酵玉米蛋白粉能够极显著降低 28 日龄盲肠大肠杆菌数量（P<0.01），饲粮添加 5%和 10%的发酵玉米蛋白粉能够极显著增加 28 和 56 日龄盲肠乳酸杆菌的数量（P<0.05）；4）饲粮添加 5%和 10%的发酵玉米蛋白粉能够极显著提高血清抗超氧阴离子自由基和抑制羟自由基能力（P<0.01），并极显著降低 28 日龄血清丙二醛含量（P<0.01）。由此可见，饲粮添加发酵玉米蛋白粉能够有效促进肉仔鸡生长，优化肠道菌群结构，提高抗氧化能力。

关键词：发酵玉米蛋白粉；肉仔鸡；肠道微生物；抗氧化能力

中图分类号：S831 文献标识码： 文章编号：

收稿日期：2016-09-02
基金项目：吉林省科技厅项目（20130206038NY）；农业科技成果转化项目（2014GB2B100005）；吉林省农业科学院重大创新工程项目；潍坊学院青年科研基金（2012Z19）
作者简介：魏炳栋（1981—），男，甘肃永靖人，博士研究生，从事新型生物饲料开发与研究工作。E-mail: weibingdong@foxmail.com
*通信作者：陈 群，研究员，硕士生导师，E-mail: chenqun96@163.com

玉米蛋白粉是利用湿法处理玉米籽粒加工玉米淀粉时产生的蛋白质经过浓缩、脱水分离、干燥等处理所得[1]。玉米蛋白粉的主要成分为蛋白质，一般在60%左右，其余的营养成分包括纤维素、淀粉、无机盐以及具有特殊生理功能的黄色素（玉米黄质、β-胡萝卜素、叶黄素等）等，其蛋白质主要由玉米醇溶蛋白（zein，68%）、谷蛋白（glutelin，22%）、球蛋白（globulin、1.2%）以及少量的白蛋白（albumin）构成[2]。由于醇溶蛋白含有大量疏水性氨基酸，能够在多肽主链上形成稳定的 α-螺旋体结构，导致醇溶蛋白在单胃动物体内不易于被消化吸收，且较容易和其他大分子有机物或微量元素结合，阻碍了动物肠道对这部分营养元素的吸收与利用[3]，因此畜禽直接饲喂玉米蛋白粉的效果并不理想，这也是制约玉米蛋白粉应用的一个主要原因。复合微生物发酵采用多菌种协作，产生的蛋白酶将大分子蛋白质降解成具有多种生理活性的多肽，发酵所用的微生物及部分次级代谢产物随饲粮进入机体后，可以改善动物的肠道微生物环境，在提高有益菌数量的同时，抑制有害菌的生长，复合微生物相互之间的次级代谢产物会产生正向的协同效应，往往比单独菌种发酵的程度及发酵的产物质量要好。但是，目前关于复合微生物发酵玉米蛋白粉在肉仔鸡生产中应用的研究报道还很少。因此，本研究以黑曲霉、乳酸杆菌和酵母菌为发酵菌种，采用固态发酵的形式，研究复合微生物发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡生长性能、肠道微生物数量和抗氧化能力的影响。

1　材料与方法

1.1　试验材料

玉米蛋白粉采用乳酸杆菌、酵母菌和黑曲霉为发酵菌种，以固态发酵方式，按照乳酸杆菌4%、酵母菌6%和黑曲霉6%接种量，在发酵温度33 ℃、含水量为40%、初始pH为7.0的条件下发酵84 h后，55 ℃烘干，得到发酵玉米蛋白粉。

1.2　试验设计

选取 7 日龄黄羽肉仔鸡 150 只，随机分为 3 组，每组 10 个重复，每个重复 5 只鸡，每组中公母各占 1/2，各重复之间体重差异不显著（P＞0.05）。对照组饲喂不添加发酵玉米蛋

白粉的基础饲粮，试验 1 组和 2 组分别饲喂添加 5%和 10%的发酵玉米蛋白粉的试验饲粮。饲粮参照中国《鸡营养标准》（NY/T 33-2004）配制，其组成及营养水平见表 1。试验过程中，严格按照饲养管理规程操作，常规操作程序免疫接种，保持试验场地和鸡舍清洁卫生，正常消毒，试验鸡雏健康无病，自由采食和饮水。试验期 49 d。

表 1　饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
原料 Ingredients			
玉米 Corn	60.90	61.60	65.20
豆粕 Soybean meal	24.95	24.30	15.50
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.00		
发酵玉米蛋白粉 Fermented corn gluten meal		5.00	10.00
鱼粉 Fish meal	3.00	3.00	3.00
豆油 Soybean oil	2.00	2.00	2.00
石粉 Limestone	0.90	0.90	0.90
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.40	1.40	1.40
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys•HCl	0.35	0.30	0.50
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.20	0.20	0.20
预混料 Premix1)	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)			
代谢能 ME/(MJ/kg）	3.00	3.00	3.00
粗蛋白质 CP	21.23	21.33	21.30
钙 Ca	0.97	0.97	0.96
总磷 AP	0.75	0.74	0.72
赖氨酸 Lys	1.28	1.24	1.22
蛋氨酸 Met	0.56	0.56	0.56
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.86	0.86	0.87

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 8 000 IU，VB_1 4 mg，VB_2 3.6 mg，VB_5 40 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02 mg，VD_3 3 000 IU，VE 20 IU，VK_3 2 mg，生物素 biotin 0.15 mg，叶酸 folic acid 1.0 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 11 mg，烟酸 nicotinic acid 10 mg，抗氧化剂 antioxidant 100 mg，Cu (as copper sulfate) 10 mg，Fe (as ferrous sulfate) 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，Zn (as zinc sulfate) 75 mg，I (as potassium iodide) 0.40 mg，Se (as sodium selenite) 0.30 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 样品采集与制备

分别于 28 和 56 日龄称重结束后，每个重复选取接近平均体重的试鸡 1 只，颈部采血后，迅速 4 000 r/min 离心 10 min，取适量血清，于-20 ℃条件下密封保存，备测。同时，进行屠宰试验，记录活体重与胴体重后，立即无菌解剖并摘取肝脏、胸腺、肾脏、法氏囊，除去血液，滤纸吸干，称重，计算器官指数。

器官指数（mg/g）＝器官重量（mg）/体重（g）。

取 1 g 肝脏组织，加 9 倍冰生理盐水，剪碎，置玻璃匀浆器中破碎，制成 10%的组织匀浆液，2 000 r/min 离心 15 min，取上清液于-20 ℃条件下保存，备测肝脏抗氧化指标。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能

每周以重复为单位，空腹称重鸡只，计算平均体重、平均日增重（ADG）；试验期间以重复为单位，记录平均日采食量（ADFI），计算料重比（F/G）。

1.4.2 肠道微生物数量

28 和 56 日龄时，分别从每个重复每个重复选取接近平均体重的试鸡 1 只，颈部放血处死后，迅速解剖，截取盲肠末端 2~3 cm 肠段，在无菌条件下取内容物 0.5 g 于无菌试管内，用无菌生理盐水进行 10^{-2}~10^{-7} 倍稀释，小型振荡器混匀。用微量移液器吸取 100 μL 经稀释

的样品，滴入对应梯度培养基，肠道微生物的培养基及培养条件见表 2。每个稀释度重复 3 次。采用恒温培养箱进行培养，对菌落进行计数，最终结果以每克内容物所含菌落总数的常用对数值[lg（CFU/g）]表示。

表 2　肠道微生物的培养基及培养条件

Table 2　Culture mediums and culture conditions of intestinal microflora

细菌种类 Bacterial types	培养条件 Culture condition	培养基 Culture medium	培养温度 Culture temperature/℃	培养时间 Culture time/h
大肠杆菌 *Escherichia coli*	有氧培养	伊红美蓝(EMB)琼脂培养基	37	24
乳酸杆菌 *Lactobacillus*	厌氧培养	乳酸杆菌选择性（LBs）琼脂培养基	37	48
双歧杆菌 *Bifidobacterium*	厌氧培养	亚硫酸铋(BS)琼脂培养基	37	48
沙门氏菌 *Salmonella*	有氧培养	HE 琼脂培养基	37	24

1.4.3　血清和肝脏抗氧化指标

血清和肝脏总超氧化物歧化酶（T-SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性及丙二醛（MDA）含量均用 Specord S600 紫外可见光光度计进行测定，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

血清抑制羟自由基和抗超氧阴离子自由基能力测定试剂盒均购自南京建成生物工程研究所，测定方法严格按照试剂盒说明书要求操作。

1.5　统计分析

试验结果以平均值±标准差表示，数据处理与分析采用 SPSS 19.0 软件 one-way ANOVA 程序进行方差分析，以 P<0.05 和 P<0.01 分别作为差异显著性和极显著性判断标准，差异显著时，以 LSD 法进行多重比较。

2　结　果

2.1　复合微生物发酵对玉米蛋白粉营养成分的影响

由表 3 可知，复合微生物发酵对玉米蛋白粉的营养成分影响较大，发酵后粗蛋白质、还原糖含量以及多肽得率均有不同程度的增加，分别增加了 12.75%、8.36 倍和 2.07 倍；但是总糖含量发酵后降低了 35.86%。

表 3　复合微生物发酵对玉米蛋白粉营养成分的影响

Table 3　Effects of compound microorganism fermentation on nutrient composition of corn gluten meal

项目 Items	未发酵 Without fermentation	发酵后 After fermentation	变化 Change/%
粗蛋白质 CP/%	59.92±3.34	67.56±4.41	+12.75
总糖 Total sugar/(g/mL)	14.39±0.98	9.23±0.76	-35.86
还原糖 Reducing sugar/(g/mL)	0.42±0.03	3.93±0.78	+835.71
多肽得率 Peptide recovery ratio/%	15.03±1.12	46.12±2.23	+206.85

由表 4 可知，复合微生物发酵对玉米蛋白粉氨基酸组成影响也较大，发酵后总必需氨基酸和总氨基酸含量分别增加了 12.58%和 12.37%，各必需氨基酸含量均有不同程度增加，其中苯丙氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和缬氨酸含量增加较大，分别比未发酵时提高了 12.5%、8.5%、13.6%、11.9%和 25.4%；非必需氨基酸中脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、酪氨酸、组氨酸和精氨酸含量发酵后分别增加了 10.9%、12.8%、16.1%、13.3%、11.3%、12.0%、12.1%和 10.1%。

表 4　复合微生物发酵对玉米蛋白粉氨基酸组成的影响

Table 4　Effects of compound microorganism fermentation on amino acid constitute of corn gluten meal　　%

项目 Items	氨基酸 Amino acids	未发酵 Without fermentation	发酵后 After fermentation	变化 Change
必需氨基酸 EAA	赖氨酸 Lys	0.81±0.04	0.83±0.13	+2.47
	苯丙氨酸 Phe	3.59±0.03	4.04±0.05	+12.53
	蛋氨酸 Met	0.97±0.10	1.00±0.06	+3.09
	苏氨酸 Thr	2.11±0.03	2.29±0.01	+8.53
	异亮氨酸 Ile	2.21±0.02	2.51±0.06	+13.57
	亮氨酸 Leu	9.73±0.08	10.89±0.10	+11.92
	缬氨酸 Val	2.36±0.52	2.96±0.04	+25.42
非必需氨基酸 NEAA	脯氨酸 Pro	5.33±0.12	5.91±0.17	+10.88
	甘氨酸 Gly	1.56±0.03	1.76±0.05	+12.82
	丙氨酸 Ala	5.22±0.11	6.06±0.27	+16.09

	天冬氨酸 Asp	3.54±0.16	4.01±0.03	+13.28
	谷氨酸 Glu	13.12±0.33	14.60±0.49	+11.28
	酪氨酸 Tyr	3.17±0.06	3.55±0.04	+11.99
	组氨酸 His	1.57±0.05	1.76±0.03	+12.10
	精氨酸 Arg	1.78±0.05	1.96±0.09	+10.11
总必需氨基酸 Total EAA		21.78	24.52	+12.58
总氨基酸 Total amino acids		57.07	64.13	+12.37

2.2　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡生长性能的影响

由表 5 可知，与对照组相比，试验 1 组和 2 组能够显著提高肉仔鸡的平均日采食量和平均日增重（P<0.05），并且试验 2 组能够显著降低肉仔鸡的料重比（P<0.05）。

表 5　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡生长性能的影响

Table 5　Effects of fermented corn gluten meal on growth performance of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
初重 Initial weight/g	144±22	139±16	134±15
末重 Final weight/g	1 561±197	1 685±139	1 758±138
平均日采食量 ADFI/g	86.91±4.61^{b}	91.88±4.64^{a}	92.17±5.34^{a}
平均日增重 ADG/g	33.86±3.57^{b}	38.04±2.51^{a}	40.07±2.52^{a}
料重比 F/G	2.57±0.17^{a}	2.42±0.15^{ab}	2.30±0.14^{b}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.3　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡器官指数的影响

由表 6 可知，28 日龄时，试验 2 组的肝脏指数显著高于对照组（P<0.05），肾脏指数极显著高于对照组（P<0.01）；试验 1 组的肝脏指数和肾脏指数与对照组差异不显著（P>0.05）；各组间胸腺指数和法氏囊指数差异均不显著（P>0.05）。56 日龄时，试验 2 组的肾脏指数极

显著高于对照组和试验 1 组（*P*<0.01），胸腺指数极显著高于对照组（*P*<0.01），但是试验 1 组和 2 组之间胸腺指数差异不显著（*P*>0.05）；各组间肝脏指数和法氏囊指数差异均不显著（*P*>0.05）。

表 6　复合微生物发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡器官指数的影响

Table 6　Effects of fermented corn gluten meal on organ indexes of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
28 日龄 28 days of age			
肝脏指数 Liver index	30.24±3.31^{b}	34.39±4.99^{ab}	36.72±3.94^{a}
肾脏指数 Kidney index	10.96±1.81^{Bb}	10.85±0.81^{Bb}	11.33±1.73^{Aa}
胸腺指数 Thymus index	4.93±1.18	5.62±0.68	6.09±0.66
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	0.89±0.06	0.91±0.11	0.90±0.07
56 日龄 56 days of age			
肝脏指数 Liver index	21.35±2.00	21.58±2.24	28.12±2.45
肾脏指数 Kidney index	7.78±0.80^{Bb}	7.94±0.60^{Bb}	10.55±0.58^{Aa}
胸腺指数 Thymus index	4.19±0.62^{Bb}	5.99±0.54^{Aa}	6.44±0.59^{Aa}
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	0.54±0.04	0.53±0.05	0.53±0.03

2.4　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡肠道微生物数量的影响

由表 7 可知，28 日龄时，试验 2 组盲肠大肠杆菌数量极显著低于对照组（*P*<0.01），但是与试验 1 组间差异不显著（*P*>0.05），试验 1 组与对照组间差异也不显著（*P*>0.05）；试验 1 组和 2 组的盲肠乳酸杆菌数量极显著高于对照组（*P*<0.01），且试验 1 组和 2 组间差异不显著（*P*>0.05）。56 日龄时，除试验 1 组和 2 组盲肠乳酸杆菌数量极显著高于对照组（*P*<0.01）外，其余各组间肠道微生物数量差异均不显著（*P*>0.05）。

表 7　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡肠道微生物数量的影响

Table 7　Effects of fermented corn gluten meal on intestinal microflora number of broilers

lg（CFU/g）

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
28 日龄 28 days of age			
大肠杆菌 *Escherichia coli*	8.65±0.21Aa	8.59±0.29ABab	8.37±0.12Bb
沙门氏菌 *Salmonella*	7.58±0.21	7.55±0.15	7.53±0.25
乳酸杆菌 *Lactobacillus*	10.32±0.16Bb	10.81±0.35Aa	10.90±0.30Aa
双歧杆菌 *Bifidobacterium*	9.38±0.26	9.45±0.24	9.49±0.24
56 日龄 56 days of age			
大肠杆菌 *Escherichia coli*	7.70±0.19	7.56±0.27	7.58±0.24
沙门氏菌 *Salmonella*	6.51±0.21	6.43±0.23	6.40±0.31
乳酸杆菌 *Lactobacillus*	10.63±0.35Bb	10.98±0.09Aa	11.07±0.30Aa
双歧杆菌 *Bifidobacterium*	9.51±0.24	9.52±0.35	9.56±0.20

2.5　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡抗氧化能力的影响

2.5.1　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡血清抗氧化能力的影响

由表 9 可知，28 日龄时，试验 1 组和 2 组血清 MDA 含量极显著低于对照组（P<0.01）；各组间血清 T-SOD 和 GSH-Px 活性差异不显著（P>0.05）；试验 2 组血清抗超氧阴离子自由基和抑制羟自由基能力均极显著高于试验 1 组和对照组（P<0.01），且试验 1 组极显著高于对照组（P<0.01）。56 日龄时，试验 1 组和 2 组血清 GSH-Px 活性极显著高于对照组（P<0.01）；试验 2 组血清抗超氧阴离子自由基和抑制羟自由基能力均极显著高于试验 1 组和对照组（P<0.01），且试验 1 组极显著高于对照组（P<0.01）；各组间血清 T-SOD 活性和 MDA 含量差异均不显著（P>0.05）。

表 8　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡血清抗氧化能力的影响

Table 8　Effects of fermented corn gluten meal on serum antioxidant capacity of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
28 日龄 28 days of age			
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	128.03±8.03	137.9±8.86	139.29±11.08
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.48±0.38Aa	3.59±0.42Bb	3.28±0.49Bb

谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(μmol/mL)	437.11±46.89	441.79±37.60	465.84±30.14
抗超氧阴离子自由基 ASAFR/(U/L)	70.97±10.2^{Cc}	99.58±6.08^{Bb}	118.28±1.90^{Aa}
抑制羟自由基 RAHFR/(U/mL)	331.91±12.62^{Cc}	426.12±19.73^{Bb}	515.66±20.26^{Aa}
56 日龄 56 days of age			
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	126.13±11.20	136.33±10.78	139.85±6.75
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.08±0.33	3.89±0.31	3.62±0.27
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(μmol/mL)	354.24±31.14^{Bb}	416.85±34.35^{Aa}	456.38±35.96^{Aa}
抗超氧阴离子自由基 ASAFR/(U/L)	69.59±10.94^{Cc}	109.02±7.44^{Bb}	137.67±6.61^{Aa}
抑制羟自由基 RAHFR/(U/mL)	341.47±4.73^{Cc}	434.72±11.38^{Bb}	471.97±19.57^{Aa}

2.5.2 玉米蛋白粉对肉仔鸡肝脏抗氧化能力的影响

由表 9 可知，28 日龄时，试验 2 组肝脏 T-SOD 活性极显著高于对照组和试验 1 组（P<0.01），且对照组与试验 1 组间差异不显著（P>0.05）；试验 1 组和 2 组肝脏 MDA 含量极显著低于对照组（P<0.01）；各组间肝脏 GSH-Px 活性差异均不显著（P>0.05）。56 日龄时，各组间肝脏 T-SOD、GSH-Px 活性以及 MDA 含量差异均不显著（P>0.05）。

表 9 发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡肝脏抗氧化能力的影响

Table 9 Effects of fermented corn gluten meal on liver antioxidant capacity of broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental Group 1	试验 2 组 Experimental Group 2
28 日龄 28 days of age			
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	573.62±28.73^{Bb}	643.17±29.83^{Bb}	733.12±34.06^{Aa}
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	1.04±0.07^{Aa}	0.76±0.09^{Bb}	0.73±0.05^{Bb}
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)	12.78±0.23	13.47±0.16	13.65±0.23
56 日龄 56 days of age			
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	614.12±23.67	622.51±26.33	635.07±33.12
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	1.12±0.07	0.96±0.11	0.99±0.03

谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)	12.74±0.12	13.49±0.1	13.55±0.14

3 讨 论

3.1 复合微生物发酵对玉米蛋白粉营养成分的影响

玉米蛋白粉是生产玉米淀粉过程中得到的副产物，一般情况下，玉米蛋白粉的粗蛋白质含量可达 60%以上，并且主要是来自玉米胚乳中的醇溶蛋白，微生物发酵可显著提高和改善其营养价值，促进动物新陈代谢。本研究中，以乳酸杆菌、酵母菌和黑曲霉为发酵菌种，采用固态发酵方式对玉米蛋白粉发酵 84 h，发酵后粗蛋白质和还原糖含量均有不同程度的增加，分别增加了 12.75%和 8.36 倍，但是总糖含量降低了 35.86%；同样，发酵后总必需氨基酸和总氨基酸含量分别增加 12.58%和 12.37%，说明发酵过程中微生物的大量增殖能够使部分玉米蛋白转化成菌体蛋白，不但改变了玉米蛋白粉的营养品质，而且还提高了发酵基料的蛋白质水平，同时，菌体分泌的蛋白酶可将植物大分子蛋白质降解为氨基酸、多肽及氨等小分子物质。魏炳栋等[4]采用乳酸杆菌和酸性蛋白酶复合固态发酵酶解的方式对豆粕、棉籽粕和菜籽粕进行处理，结果表明，乳酸杆菌和酸性蛋白酶复合固态发酵能够提高豆粕、棉籽粕和菜籽粕粗蛋白质的含量；与未发酵豆粕相比，发酵豆粕蛋白质体外消化率提高了 6%，游离必需氨基酸含量提高了 24 倍，游离总氨基酸含量提高了 45 倍[5]；发酵 72 h 时，豆粕、菜籽粕和棉籽粕总糖含量分别下降了 17.40%、33.26%和 27.35%，还原糖含量分别增加了 6.47 倍、10.15 倍和 1.53 倍[6]，这些结果均与本试验结果相一致。

3.2 发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡生长性能的影响

目前，发酵玉米蛋白粉的研究主要集中在玉米肽发酵生产工艺优化[7]、菌种筛选[8-9]以及抗氧化活性[10-11]等方面，在动物应用方面的研究报道较少。张宏宇等[12]利用商品发酵蛋白粉普乐金（CJ-Prosin，粗蛋白质含量 70%）和普乐肽（CJ-Protide，粗蛋白质含量 58%）替代断奶仔猪饲粮中 50%鱼粉时，对断奶仔猪生长性能没有显著影响；夏素银等[13]利用发酵蛋白饲料（粗蛋白质含量 44.26%，粗脂肪含量 2.88%，粗纤维含量 10.48%）替代 30%豆

粕时，对肉仔鸡的平均日增重和料重比没有显著影响；金秒仁等[14]在爱拔益加（AA）肉仔鸡饲粮中分别添加 5%和 10%的微生态发酵蛋白粉（粗蛋白质含量 48.14%，干物质含量 92.72%）能够显著提高肉仔鸡的生长性能。本研究中，肉仔鸡饲粮中添加发酵玉米蛋白粉（粗蛋白质含量 67.57%）能够显著提高试验动物的平均日采食量和平均日增重，并且饲粮中添加 10%的发酵玉米蛋白粉能够显著降低料重比。

3.3　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡器官指数的影响

器官指数是试验动物的重要生物学指标之一，其大小在一定程度上能够反映动物器官的功能强弱及受损情况[15]。肝脏和肾脏是体内重要的代谢器官，胸腺和法氏囊是重要的免疫器官。一般认为，免疫器官的增加是由其自身的细胞生长发育和分裂增殖所致，重量增加表明机体免疫机能提高，重量减少表明机体免疫状况变差[16]。本试验中，肉仔鸡饲粮中添加 10%的发酵玉米蛋白粉能够显著提高肉仔鸡 28 日龄的肝脏指数、肾脏指数以及 56 日龄的肾脏指数、胸腺指数，说明发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡的生长发育、代谢以及免疫功能均有一定程度的促进作用。但是，目前关于生物发酵饲料对试验动物器官指数影响的研究结果并不一致。沈沾红等[17]研究结果表明，赖氨酸发酵蛋白粉替代 20%或 40%豆粕蛋白时，肉鸡的消化器官（胰腺、肌胃、十二指肠、空肠和回肠）指数显著高于对照组；杜丽华等[18]研究结果表明，在 1~4 周龄黄羽肉鸡饲粮中用 9%发酵豆粕替代普通豆粕，可显著提高脾脏指数和法氏囊指数，并认为主要原因有：1）发酵饲料中抗营养因子降解，减少饲粮抗原对机体免疫系统的攻击；2）发酵饲料中含有一定数量的活菌及益生素和一定数量的小肽，益生素和小肽均能参与机体免疫调节，促进免疫器官发育，提高机体免疫功能。但是，王宝维等[19]研究结果表明，5~12 周龄五龙鹅饲粮中添加 6%~8%的发酵葡萄籽粕对免疫器官指数没有显著影响；同样，邱良伟[20]研究结果表明，用 50%、75%和 100%发酵棉籽粕蛋白替代豆粕，对肉仔鸡免疫器官有一定的促进作用，但是未达到显著水平。

3.4　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡肠道微生物数量的影响

肠道微生态系统是动物体内最大和最复杂的微生态系统，动物从出生开始，这些细菌就进入到消化道中，随着年龄增长、营养变化等因素的影响，肠道菌群发生着不同的变化，并且在不同部位细菌的数量和种类有所不同，并保持一种动态的平衡，肠道菌群的平衡和稳定对机体的生理功能具有十分重要的作用，对其宿主的健康具有深远的影响。本研究中，肉仔鸡饲粮中添加 5%或 10%的发酵玉米蛋白粉能够极显著地提高盲肠中乳酸杆菌的数量，显著降低盲肠中大肠杆菌的数量，这主要是因为发酵玉米蛋白粉中的活性有益菌进入消化道后迅速定植，并逐渐形成优势菌群，产生的各种次级代谢产物能够降低肠道 pH，抑制致病菌的生长。尹鹏鹏[21]研究指出，生物发酵饲料能够显著降低肉鸭回肠内大肠杆菌和肠球菌的数量，增加乳酸杆菌和芽孢杆菌的数量，李永明等[22]、俞晓辉[23]的研究报道均与本试验结果一致。

3.5　发酵玉米蛋白粉对肉仔鸡抗氧化能力的影响

玉米蛋白经微生物发酵可产生具有多种生理活性功能的玉米肽，主要表现在易消化吸收、抗氧化、抗疲劳、降血压、抗过敏等，其中抗氧化肽能够抑制生物大分子过氧化，清除体内自由基的产生。蔡佳[24]利用黑曲霉固态发酵的形式发酵玉米蛋白粉制备的玉米肽具有较强的抗氧化活性；同样，牟金秀[25]利用枯草芽孢杆菌发酵玉米蛋白粉制备的玉米肽也具有较强的抗氧化活性。本试验中，以乳酸杆菌、酵母菌和黑曲霉为发酵菌种，采用固态发酵方式，在肉仔鸡饲粮中分别添加 5%或 10%的发酵蛋白粉能够极显著提高机体抗氧化酶活性和血清中抑制自由基的能力，并且极显著的降低 28 日龄肉仔鸡血清中 MDA 的含量，说明本试验制备的发酵玉米蛋白粉具有较强的抗氧化能力。王宝维等[19]、邱良伟[20]、黄静等[26]报道，利用发酵葡萄籽粕、发酵棉籽粕和发酵桑叶粉对五龙鹅、肉仔鸡和胡须鸡的抗氧化能力均有不同程度地提高，本试验结果与上述研究结果相一致。

4　结　论

① 饲粮中添加发酵玉米蛋白粉能够提高肉仔鸡的平均日采食量和平均日增重，并且添

加 10%的发酵玉米蛋白粉能够显著降低料重比。

② 饲粮中添加发酵玉米蛋白粉能够提高肉仔鸡的肝脏指数、肾脏指数和胸腺指数，具有促进发育、代谢和生长的作用。

③ 饲粮中添加发酵玉米蛋白粉能够降低肉仔鸡大肠杆菌数量，提高乳酸杆菌的数量，改善肠道环境。

④ 饲粮中添加发酵玉米蛋白粉能够提高肉仔鸡血清中抗氧化酶活性和抑制自由基能力，并且降低血清中 MDA 的含量。

参考文献：

[1] 潘旭琳,曹龙奎.玉米蛋白粉研究进展[J].黑龙江八一农垦大学学报,2013,25(4):53–57.

[2] 晏家友,贾刚.玉米蛋白粉的营养价值及其应用概况[J].饲料工业,2009,30(15):53–55.

[3] 李瑞瑞,牛月景.醇溶蛋白及其在饲料行业中的应用[J].饲料研究,2014(1):4–5.

[4] 魏炳栋,党修利,邱玉朗,等.乳酸菌固态发酵酶解对豆粕、棉籽粕和菜籽粕粗蛋白质、pH、酸度及抗营养因子含量的影响[J].中国畜牧兽医,2014,41(11):107–114.

[5] 魏炳栋,陈群,刘海燕,等.乳酸菌固态发酵对豆粕蛋白质含量、体外消化率及游离氨基酸含量的影响[J].饲料博览,2010(3):3–5.

[6] 魏炳栋,陈群,于秀芳,等.乳酸菌发酵豆粕、菜籽粕和棉籽粕过程中总糖和还原糖含量变化的研究[J].吉林畜牧兽医,2010,31(2):47–49.

[7] 朱志红.大豆玉米复合肽的发酵工艺及活性研究[D].硕士学位论文.长春:吉林大学,2015.

[8] 孟祥玉,刘晓兰,郑喜群,等.米曲霉浓醪发酵玉米蛋白粉制备具有抗氧化活性的蛋白水解物[J].农产品加工：学刊,2014(5):23–25,31.

[9] 王燕,文奇男,许瑞雪,等.好食性脉孢霉和嗜酸乳杆菌混合发酵生产玉米蛋白饲料条件的研究[J].饲料工业,2014,35(11):18–21.

[10] 李艳丽.玉米肽的制备、特性及活性研究[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2003.

[11] 李江涛,张久亮,何慧,等.玉米肽体内外抗肿瘤活性[J].食品科学,2013,34(15):223–227.

[12] 张宏宇,朴香淑,张强,等.新型蛋白原料替代鱼粉对断奶仔猪生长性能、营养物质消化率的影响[C]//饲料资源开发与利用:中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集.长沙:中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2012:523.

[13] 夏素银,王成章,严学兵,等.发酵蛋白饲料替代豆粕对肉仔鸡生长性能、养分消化率及肠道菌群的影响[J].动物营养学报,2010,22(2):352–357.

[14] 金秒仁,徐张贤.微生态发酵蛋白饲料对肉鸡生长性能及肠道微生物菌群的影响试验[J].浙江畜牧兽医,2013,38(2):7–9.

[15] 魏炳栋,于维,陶浩,等.黄芪多糖对 1~14 日龄肉仔鸡生长性能、脏器指数及抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2011,23(3):486–491.

[16] 马德莹,单安山,李群道.中草药添加剂对蛋雏鸡生长性能和免疫功能的影响[J].动物营养学报,2004,16(2):36–40.

[17] 沈沾红,曾秋凤,张克英,等.赖氨酸发酵蛋白粉的营养价值评定及对肉鸡生产性能的影响[J].动物营养学报,2009,21(3):379–387.

[18] 杜丽华,谢丽曲,王长康,等.发酵豆粕对 1-4 周龄黄羽肉鸡生长性能、消化酶活性、抗氧化能力和免疫器官指数的影响[J].福建农林大学学报:自然科学版,2013,42(4):403–409.

[19] 王宝维,隋丽,岳斌,等.发酵葡萄籽粕对 5~12 周龄五龙鹅消化生理、免疫器官指数和抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(1):163–171.

[20] 邱良伟.发酵对棉粕营养特性及其在肉鸡中的应用研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2012.

[21] 尹鹏鹏.发酵饲料对肉鸭生长性能及回肠菌群的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2012.

[22] 李永明,徐子伟,李芳,等.发酵谷物液体饲料对超早期断奶仔猪生长性能和肠道微生物菌

群多样性的影响[J].动物营养学报,2010,22(6):1650–1657.

[23] 俞晓辉.发酵豆粕对断奶仔猪生长性能和肠道微生物的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2008.

[24] 蔡佳.黑曲霉固态发酵玉米黄粉制备玉米肽[D].硕士学位论文.济南:山东轻工业学院,2012.

[25] 牟金秀.微生物发酵法生产玉米肽的研究[D].硕士学位论文.济南:齐鲁工业大学,2015.

[26] 黄静,邝哲师,廖森泰,等.桑叶粉和发酵桑叶粉对胡须鸡生长性能、血清生化指标及抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1877–1886.

Effects of Fermented Corn Gluten Meal on Growth Performance, Intestinal Microflora Number and Antioxidant Capacity of Broilers

WEI Bingdong[1] MIAO Guowei[1,2] QIU Yulang[1] LI Lin[1] CHEN Qun[1*] LI Weizhong[3]

（1. *Branch Institute of Animal Husbandry, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling* 136100, *China*; 2. *Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, *China*; 3. *Weifang University, Weifang* 261061, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of compound microorganism fermented corn gluten meal on growth performance, intestinal microflora number and antioxidant capacity of broilers. One hundred and fifty 7-day-old broilers were randomly assigned to 3 groups with 10 replicates per group and 5 broilers per replicate. The broilers in the control group were fed a basal diet, and the broilers in other groups were fed the basal diet supplemented with 5% and 10% fermented corn gluten meal, respectively. The experiment lasted for 49 days. The results showed that compared with the control group: 1) dietary supplemented with 5% and 10% fermented corn gluten meal significantly increased the average daily gain (ADG) and average daily feed intake (ADFI) of broilers (P<0.05), and dietary supplemented with 10% fermented corn gluten meal significantly decreased the ratio of feed to gain (F/G) (P<0.05); 2) dietary supplemented with 10% fermented corn gluten meal significantly increased the liver index, kidney index at 18 days of age and kidney index, thymus index at 56 days of age (P<0.05 or P<0.01); 3) dietary supplemented with 10% fermented corn gluten meal significantly decreased the caecal *Escherichia coli* number at 28 days of age (P<0.01), and dietary supplemented with 5% and 10% fermented corn gluten meal significantly increased caecal *Lactobacillus* number at 28 and 56 days of age (P<0.05); 4) dietary supplemented with 5% and 10% fermented corn gluten meal

*Corresponding author, professor, E-mail: chenqun96 @163.com （责任编辑 武海龙）

significantly increased the capacity of antisuperoxide anion free radical and restraining ability to hydroxyl free radical in serum (P<0.01), and significantly decreased the content of serum malonaldehyde content at 28 days of age (P<0.01). It is concluded that dietary supplemented with fermented corn gluten meal can promote growth, optimize the structure of intestinal microflora, and improve antioxidant capacity of broilers.

Key words: fermented corn gluten meal; broilers; intestinal microflora; antioxidant capacity